

复杂突水条件下矿井注浆堵水技术

姬中奎^{1,2}

(1. 中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710054; 2. 陕西省煤矿水害防治技术重点实验室, 陕西 西安 710077)

摘要:以桑树坪矿“8.7”突水堵水工程为例,论述了因小煤矿越界开采本矿深部煤层导致发生特大突水、在不明过水通道下的注浆堵水技术。为了在突水条件不清楚的前提下进行注浆,桑树坪矿先采用了多种探查手段,之后开展动水注浆。工程实践表明,在过水通道位置不清楚的前提下,首先要通过调查了解小煤矿的采掘情况,并结合本矿采掘系统确定截流段的大体位置;其次采用物探手段对该处过水通道进行探查,并根据物探成果使用井下钻探方法精确查明过水巷道的位置;之后展开动水截流,截流成功后再对煤层底板和奥灰岩顶部进行注浆。

关键词:突水条件;过水通道;探查;动水注浆

中图分类号:TD745 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)05-0061-05

Grouting and Water Blocking Technology under Complex Conditions of Water Inrush in Coal Mine/Ji Zhong-kui^{1,2} (1. Xi'an Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Corp., Xi'an Shaanxi 710054, China; 2. Key Laboratory of Preventing Coal Mine Water Hazard of Shaanxi Province, Xi'an Shaanxi 710077, China)

Abstract: Taking a case of water inrush in Sangshuping coal mine, the paper discussed the grouting and water blocking technology used for the special large water inrush caused by being mined beyond the approved limits with unknown water channel. The engineering practice indicates that the situation of cross-border mining must be firstly detected to determine the general location of water interception; then the water inrush channel should be detected by geophysical methods and based on the geophysical information, the water channel position is pinpointed with downhole drilling. After dynamic water interception, the grouting is carried out in the coal seam floor and the top of Ordovician limestone.

Key words: water inrush conditions; water inrush channel; detection; dynamic water grouting

矿井发生特大突水需要在动水条件下进行注浆时,一般情况下过水通道的位置都比较清楚,截流段容易确定,若是掘进中突水,则掘进巷道为过水通道,可在该独头巷道实施截流;若是工作面回采出水,则上下顺槽是过水通道,可对两条巷道实施截流^[1-9]。我国是世界煤炭生产大国,全国各地矿井众多,水文地质条件多样,采掘情况复杂,有时候矿井发生特大突水,但突水点可能不在本矿生产系统内,这时候堵水就不像在本矿内那么简单。2011年8月7日,陕西韩城桑树坪煤矿发生特大突水,原因是临近小煤矿越界开采本矿深部煤层,底板奥灰突水淹没该小煤矿,之后水流上行进入到桑树坪矿生产系统。由于突水量巨大,导致矿井深部被淹。为了保住矿井上部系统,桑树坪矿不得不在强排控制井下水位的情况下进行动水注浆堵水。要进行动水截流,首先要明确堵水段的位置,为定向钻探指明方向,但小煤矿的采掘系统不清楚,过水通道及截流段

难以确定,要想在短时间内成功堵水,难度非常大。面对困难,桑树坪煤矿想方设法查清了过水通道,确定了截流段的准确位置,经过动水注浆,最终成功堵水。研究总结桑树坪矿在复杂突水条件下的堵水方法和经验,对于提高矿井防治水技术水平、在类似条件下实现快速抢险堵水具有十分重要的意义。

1 矿井及突水概况

1.1 矿井概况

桑树坪煤矿位于陕西省韩城市北部约35 km的桑树坪镇,矿井隶属陕煤化集团韩城矿业公司,现主采山西组2号煤和3号煤,年生产能力约为1.5 Mt。桑树坪井田面积约49 km²,地貌属构造剥蚀低山丘陵区,地形复杂,沟谷发育,高差幅度大,低处标高约为440 m,最高处达1044 m,沟谷及两侧基岩裸露,山腰及山顶多为黄土覆盖。地表凿开河以近东西向贯穿井田,把桑树坪井田分为南北两翼,黄河在井田

收稿日期:2014-02-11; 修回日期:2014-03-31

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划“煤矿水害隐患探查与防治关键技术及示范”(2012BAK04B04)

作者简介:姬中奎(1970-),男(汉族),陕西潼关人,中煤科工集团西安研究院有限公司高级工程师,水文地质与工程地质专业,硕士,从事矿井防治水工作,陕西省西安市雁塔北路52号煤科院水文所,1360351079@qq.com。

的东部。由于历史的原因,桑树坪矿东部浅埋区小煤矿众多,历史上发生过多起越界开采的现象。

1.2 突水概况

2011年8月7日0:05时,桑树坪矿安全巡视员发现北二车场绕道密闭墙处有大量的水涌出,涌水很快冲垮密闭墙,矿调度室紧急通知撤人。由于涌水量峰值达到 $13200\text{ m}^3/\text{h}$,远远大于矿井最大排水量,矿井深部被淹没。为了保住矿井上部生产系统,桑树坪煤矿在韩城矿业公司及陕煤化集团公司的大力帮助下日夜奋战,从全国各地调用大泵,全力展开强排工作,最终在矿井总排水能力达 $8000\text{ m}^3/\text{h}$ 的情况下将井下淹没水位控制在333 m标高处。

2 突水条件分析及堵水方案制定

2.1 突水条件分析

本次突水的水量巨大,根据淹井时计算,突水量的峰值为 $13200\text{ m}^3/\text{h}$,在强排将水位控制在333 m标高的情况下,稳定突水量约 $8000\text{ m}^3/\text{h}$,除奥灰外本地没有其他含水层有这么大的补给能力。本地奥灰的水位标高为375 m,突水在井下排水情况下的动态淹没水位为333 m,符合奥灰水的水位特征。桑树坪矿有一个报废井内有奥灰水,发生突水后,该井的水位下降了约6 m,奥灰水位能下降6 m,表明突水为有奥灰水参与。刚发生突水时,所取水样矿化度为 3319 mg/L ,水质类型为 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl} - \text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型水,具备当地老空水的特征,后期水质稳定后所取水样矿化度为 2324 mg/L ,水质类型为 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Na} \cdot \text{Ca}$ 型水,符合当地奥灰水的水质特征。综合分析以上突水量、矿井淹没水位、观测井水位变化及突水水化学特征(见表1),确定本次突水的水源为奥灰水。

表1 桑树坪矿突水条件分析

分析项目	现场情况	分析结果
矿井突水量	峰值为 $13200\text{ m}^3/\text{h}$,稳定 $8000\text{ m}^3/\text{h}$	只有奥灰水有此补给能力
井下淹没水位	动态水位标高为333 m,奥灰水水位标高为375 m	符合奥灰的水位特征
观测井水位	发生突水后水位降深约为6 m	奥灰水参与突水
水质化验	矿化度为 2324 mg/L , $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Na} \cdot \text{Ca}$ 型	稳定水质类型为奥灰水
分析结果	突水水源为煤层底板奥灰水	

由于桑树坪矿本身没有发生奥灰突水,很显然,本次突水与附近小煤矿有关。经过对附近小煤矿的排查,发现临近禹昌煤矿越界开采了桑树坪煤矿11号煤,该处11号煤与奥灰的平均间距不到20 m,煤

层底板承受的水压约为0.7 MPa,突水系数 T_s 为 0.0875 MPa/m 。调查得知该矿在11号煤采掘中发生了奥灰底板突水,突水淹没禹昌矿后,水流通过禹昌顺矿采空区进入到桑树坪矿井,突水点应该位于禹昌矿采掘头附近。虽查清了突水的矿井及突水原因,但禹昌矿的采掘巷道空间展布情况不清楚,不知道突水究竟是从哪一条巷道过来,该条巷道的精确三维坐标更是无从知晓。由于众所周知的原因,一方面小煤矿开采没有大的工作面和系统的采掘计划,随意性较强;另一方面小煤矿采掘填图工作不完善,采后无相关采掘图件;加之即使有相关图件,小煤矿也未必能如实提供。因此,虽然抢险工程迫在眉睫,地面急需给定截流巷道的空间位置进行定向钻探,但现场无法给出截流段的精确位置。很显然,本次突水情况比一般的本矿采掘中突水要复杂得多,堵水难度较大。

2.2 堵水方案制定

为了保住矿井上部生产系统,堵水必须在动水的情况下选择一条巷道进行截流。由于小煤矿资料不全、图纸不可靠,简单的方法是在桑树坪矿内选取一段巷道堵水,这样做的好处是巷道空间位置明确,可以迅速开钻,但缺点是放弃了本矿一部分生产系统,截流后矿井不能完全恢复生产。经过研究,决定把截流段放在禹昌矿越界的11煤巷道中,突水的总体堵水方案为:第一步,先采取各种手段查明截流巷道的位置;第二步,在截流巷道位置确定后实施地面截流堵水工程;第三步,截流成功后在开展矿井追排水和恢复生产的同时,先后延伸截流孔至11煤底板和奥灰顶部,对11煤底板和奥灰顶部进行加固注浆。

3 巷道截流段探查

过水巷道截流段的探查是本次堵水的难点和重点,为了查明截流段准确位置,桑树坪矿采取了多种探查手段,包括走访调查、井上下物探、井下钻探及示踪试验等方法。

3.1 小煤矿调查

在确定是禹昌矿采掘11煤发生奥灰突水后,桑树坪矿有关工作人员多次去该矿进行走访调查。因该矿深部已被突水淹没,无法下井查看,只能通过该矿人员了解采掘情况。工作人员最初曾经获得了一部分资料,之后通过深入调查和对比,证明该资料完全不可靠。后来又反复去该矿做工作,最终获得了一个相对真实的资料,但该图纸是采用罗盘加步测

的方式用直尺标注的,准确性较差。尽管如此,根据该资料,结合桑树坪煤矿采掘工程图,仍发现禹昌矿有一条采巷是突水外流的必由之路,该巷道恰好从桑树坪矿365中巷下方约40 m深度处通过,若能找出该巷道的确切位置,该处是实施截流的最佳地点。

3.2 井上下物探

有了大体位置后,先采取了物探方法对巷道进行了探查,其中地面采取的是瞬变电磁方法,井下采取的是高密度电法勘探。地面电法在长360 m×120 m的区域内以20 m×20 m的网度布置测点,共布置7条测线,每条测线上有19个测点,探测深度为+310 m,超过11煤底板。勘探结果表明测区南部有低阻异常区,推断该异常为11号煤采空区。井下电法在365上中巷以联巷口布置测点,测点间距5 m,共布置测点66个,编号为-6~60;365下中巷以上中30号测点为起点,向南按5 m间距布置测点40个,为-10~30。探查结果表明,在2条测线的4号点附近下方约50 m处有一条宽约20 m的低阻区,疑似过水巷道,且4号点恰好位于瞬变电磁测区南部。

3.3 井下钻探

根据物探结果,先在4号测点附近布置钻孔进行验证,钻孔见11煤后未发现掉钻,之后在4号测点两侧扩大钻探范围。施工中9号和12号钻孔最先掉钻探测到落空段,落空长度为3 m,与禹昌矿巷道高度相符,同时钻孔有水涌出,之后在9号孔和12号孔两侧布设加密钻孔,探查巷道边界和宽度。整个井下探查工程共布置了20个孔位,相邻孔位间距为5 m,其中部分钻孔孔位施工了3个钻孔,垂直方向上分别为0°、15°和30°,整个井下钻探工程共施工了32个钻孔,总进尺为1551.7 m。钻探中7号孔至12号孔段之间均遇见空洞,-6号孔至6号孔段、13号孔至15号孔段之间的钻孔均揭露实煤体。据此分析,过水通道在7号孔至12号孔之间,与物探异常区边界很接近。井下钻探工程及过水通道推测边界详见图1。经分析,由于小煤矿的多采用巷采方式,加上突水水流的持续冲刷,禹昌矿越界采巷宽约23.5 m,高约3 m,断截面约70.5 m²,动水的过水断面较大。

探查中先安排2台钻机对物探异常点进行施工,钻机为ZDY1500型全液压坑道钻机,后为了加快进度,增加2台共4台钻机在巷道中一字摆开。由于365中巷距离过水巷道垂高仅为40 m,且巷道为岩层,底板标高比奥灰水头低10 m,比井下排水点

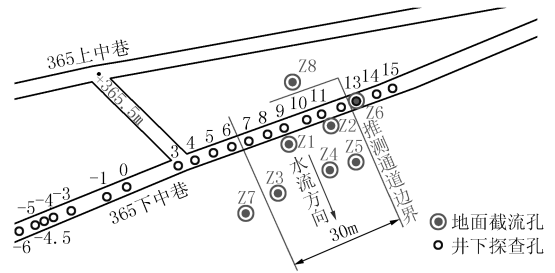


图1 探查孔、截流孔及推测通道平面示意图

水头高32 m,因此采用裸孔钻进技术,不下孔口管直接开钻,孔径为75 mm。钻探工艺为普通回转钻进,不配泥浆直接用清水钻,钻探过程中要求严密观测钻孔返水或漏水情况。由于钻孔距离突水点近,过水巷道内水头较高,最后透巷后钻孔有水溢出但水压不大。钻孔封孔采用下木塞的方式,用钻杆将木塞下至孔中,上部灌入水泥,木塞浸水膨胀及水泥凝固后孔口无水溢出。

3.4 示踪试验

为了证明落空段为过水巷道,钻进中掉钻后进行了示踪试验,示踪剂为食品红。9月15日,在12号孔掉钻2.4 m后,将5 kg示踪剂与1 m³水混合后压入钻孔中,约45 min后,观测人员在禹昌矿排水点检测到食品红成分。9月19日,9号孔掉钻3 m后如法进行示踪试验,42 min后,禹昌矿排水点检测到示踪剂成分。示踪试验证明,9号孔和12号孔所揭露该段巷道为突水的过水通道。

4 堵水工程实施

4.1 动水注浆截流

由于过水巷道的断面宽面积大,堵水中在截流区布置两排8个钻孔,钻孔错开成梅花形,其中Z1和Z2为第一排灌注孔,Z3、Z4和Z5为第二排灌注孔,两排钻孔间距离为15 m,Z6、Z7和Z8为过水巷道边界探测孔,钻孔具体位置详见图1。钻孔一开孔径311 mm,钻进11 m进稳定基岩后下入 $\varnothing 244.5$ mm×8.94 mm一开套管;二开孔径216 mm,下入 $\varnothing 139.7$ mm×8.05 mm二开通天套管,下至距离过水巷道顶板以上约20 m深度处,裸孔段 $\varnothing 110$ mm,透巷处长度约20 m,截流孔钻探情况详见表2,钻孔结构详见图2。

钻探中为了加快抢险进度,采用美国雪姆公司T130型钻机进行定向钻进。一开钻孔段采用水钻,二开钻孔段采用风钻。为了防斜纠偏,而又不影响钻进速度,在钻孔施工中引进了复合钻进技术,利用

表2 钻孔情况及钻探工程量统计

孔号	孔深/m	钻探情况	延伸情况
Z1	159.00	孔进365巷,巷封后未使用	未延伸
Z2	255.09	前期注砂,11煤中未见落空	延伸进奥灰30.19 m
Z3	255.82	206.6~209.0 m落空2.4 m,主通道	延伸进奥灰34.62 m
Z4	258.28	207.2~210.2 m落空3.0 m,主通道	延伸进奥灰35.98 m
Z5	255.31	206.8~207.5 m落空0.7 m,通道上	延伸进奥灰32.71 m
Z6	254.35	202.0 m全漏,但未见落空	延伸进奥灰30.85 m
Z7	255.27	195.0 m处漏失,未见落空	延伸进奥灰34.37 m
Z8	255.27	孔进365巷,巷封后使用	延伸进奥灰29.47 m
合计	1948.39		

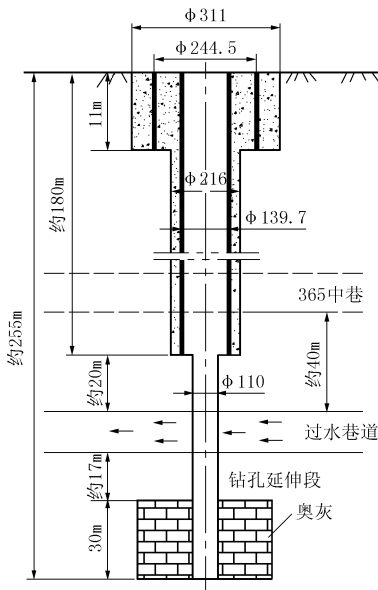


图2 截流钻孔结构示意图

单弯螺杆和PDC钻头,在不更换钻具状态下纠偏作业,纠偏后即可启动钻进,这样可减少起下钻时间,提高钻进时效。测斜使用单点测斜照相仪,每钻进20 m测斜一次,根据测斜结果及时导向。透巷前是钻孔最后的关键阶段,采用筒状扫铁钻头取心钻进,密切观测钻井液消耗漏失情况。接近巷顶时,孔底要减压至10 MPa以下,以免压塌巷道顶板。采用此钻探技术,钻孔从开钻到透巷基本都在5~7天内完成。

骨料灌注中,原计划通过定向钻探在Z1孔和Z2孔穿透365中巷后,利用井下探查孔对接进行注浆,因365巷道底板岩层破碎,不得已施工了两道挡水墙段对截流段上部365巷道进行了封闭,之后钻孔穿透365巷道底板,固结完二开套管后才进行灌注。整个截流工程中共灌入骨料25716 m³,其中细骨料砂子为25416 m³,米石为300 m³,各孔灌注情况详见表3。最终骨料在过水巷道接顶,涌水量衰

减至150 m³/h,同时奥灰水位大幅回升,表明骨料已将巷道中的管道流截住。之后马上开始注入水泥浆,对阻水墙及周边裂隙进行加固,最后奥灰水位完全恢复,动水截流宣告结束。

表3 注浆工程量统计

孔号	截流阶段		加固阶段		总水泥量	备注
	骨料量	水泥浆量	水泥浆量	浆量		
Z2	1100	1020	537	1557		
Z3	5385	335	35	370		
Z4	12130	4695	575	5270		骨料中含300 m ³ 米石
Z5	4171	380	175	555		
Z6	2930	880	14845	15725		
Z7	0	0	9536.5	9536.5		截流中未注入骨料
Z8	0	200	733	933		截流中未注入骨料
合计	25716	7510	26436.5	33946.5		总水泥18550 t

骨料灌注采用射流自重灌注法,具体工艺为:钻孔孔口密封,连接一个灌砂管,灌砂管与三通漏斗相连,三通漏斗另两端分别为灌砂口和进水口。灌砂口朝上接受骨料的灌入,进水口平放连接注水管,注水管与排量为100 m³/h的潜水泵相连,潜水泵产生的高速水流可把自重落入漏斗的骨料冲进钻孔中,然后通过钻孔输送到巷道中堵水。加固注浆中水灰比为1:1,采用连续快速注入方式,以免加固不及时水流突破堵水墙。注浆终压时要求为孔口压力<3 MPa,注浆泵量>50 L/min,并在高压和小泵量的情况下维持30 min以上。通过加固注浆,堵水墙与巷道周边煤岩体连成了一个整体,可有效防止水流通过墙体与巷道之间的裂隙漏水。

4.2 底板延伸注浆

动水截流后,一方面突水点探查还需工程量,另一方面为了避免小煤矿再次偷采,没有对突水点实施治理。但为了进一步从深部消除突水隐患,对原地面7个截流孔(Z1孔除外)进行了延伸钻探和注浆。先延伸钻孔至11煤底板,对底板岩层进行注浆加固;之后再次延伸至奥灰顶部约30 m,对奥灰顶部进行高压注浆。奥灰顶部注浆中,Z6孔进入奥灰后冲洗液大量漏失,最终注入水泥浆14550 m³后起压,注浆量在所有钻孔中最大,说明该孔揭露到奥灰顶部岩溶通道,对封堵奥灰岩溶通道有重要的作用。

底板延伸注浆中钻探采用PDC钻头常规回转钻探技术,孔径110 mm,不下套管逐步延伸钻进。注浆中水灰比为1~2,注浆方式采用连续式与间歇式相结合,对Z3等吃浆量少的钻孔,采用稀浆连续注入,对于Z6等吃浆量大的钻孔,采用稠浆间歇注入。注浆的终孔标准同截流加固注浆,要求在孔口压力<3

MPa、注浆量 ≥ 50 L/min的情况下维持30 min以上。

4.3 堵水工程效果

动水截流工程结束后,奥灰水位完全恢复,剩余水量约为 $80\text{ m}^3/\text{h}$,桑树坪矿井开始恢复生产。经过延伸至11煤底板及奥灰顶部进行注浆后,最后的残余水量仅为 $24\text{ m}^3/\text{h}$,整个堵水工程的堵水率达到99.8%。

5 结语

桑树坪矿堵水实践表明,对于小煤矿越界开采本矿底部煤层造成的被动型矿井特大突水,在过水通道位置不清楚的前提下,可采取如下方法进行堵水:

- (1)首先要通过走访调查了解小煤矿的采掘情况,之后结合本矿采掘系统确定截流段的大体位置;
- (2)之后采用物探手段对截流段巷道位置进行详细探查,并根据物探成果在井下使用钻探方法精确查明过水巷道的空间位置;
- (3)截流段巷道查清后先进行动水截流注浆,

(上接第52页)

(2)试验数据显示,2种取样模式对比发现,连续取样模式能够在地面采用较低的驱动气压实现取样,保障地面系统的安全性能。

(3)在试验过程中对比2种取样模式,在对样品影响方面,连续取样时每一小段流体都与大气产生接触,而单循环取样只有两端流体与大气接触;在取样工序上,目前单循环模式每次都需要人工操作,而连续取样可以实现初步的自动化;在取样速度方面,单循环取样速度比较恒定,与井深等参数无明显关系,连续取样方式随着驱动气压的升高增加取样速度。

(4)U形管采样技术体积小,有较广的应用前景。油藏流体是油气田开发最基本的资料之一,在

截流成功后在追排水的同时再进一步对煤层底板和奥灰顶部进行注浆。

参考文献:

- [1] 李松营.应用动水注浆技术封堵矿井特大突水[J].煤炭科学技术,2000,28(8):28-30.
- [2] 赵苏启.煤矿突水灾害快速治理的配套技术[J].煤炭科学技术,2001,29(2):26-28.
- [3] 刘建功,赵庆彪,白忠胜,等.东庞矿陷落柱特大突水灾害快速治理[J].煤炭科学技术,2005,33(5):4-7.
- [4] 白峰青,卢兰萍,缙书宝,等.德盛煤矿特大突水治理技术[J].煤炭学报,2007,32(7):741-743.
- [5] 李彩惠.矿井特大突水巷道截流封堵技术[J].西安科技大学学报,2010,30(3):305-308.
- [6] 南生辉.综合注浆法建造阻水墙技术[J].煤炭工程,2010,(6):29-31.
- [7] 刘生优.骆驼山煤矿16煤大巷奥灰突水封堵工程设计[J].煤炭工程,2011,(10):37-42.
- [8] 邵红旗,王维.双液注浆法快速建造阻水墙封堵突水巷道[J].煤矿安全,2011,42(11):40-43.
- [9] 岳卫振.平衡压力法在极松散煤巷注浆截流堵水中的应用[J].煤炭工程,2012,(8):40-42.

探井完井过程中依附完井管柱下入永久式U形管取样设备,同时设计整合其他监测系统,如地层压力监测等能够有效的监测目的层油藏各项参数。

参考文献:

- [1] Barry Freifeld. The U-tube: A New Paradigm for Borehole Fluid Sampling[J]. Scientific Drilling, 2009, 8(9):41-45.
- [2] 中国21世纪议程管理中心,中国地质调查局水文地质环境地质调查中心.中国二氧化碳地质封存选址指南研究[M].北京:地质出版社,2012.
- [3] 郑继天,叶成明,王建增,等.地下水污染调查惯性取样泵的设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(9):37-39.
- [4] 郑继天,王建增.国外地下水污染调查取样技术综述[J].勘察科学技术,2005,(6):20-23.
- [5] 靳成军,郑继天.污染调查中的水、土样品采集技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(11):38-41.

我国陆上最深水平井开钻

《中国矿业报》消息(2014-05-22) 塔里木油田塔中862H井日前顺利完成1502 m的开钻任务,成为我国陆上设计最深的水平井。

为解开塔中深层地带地质密码,塔里木油田推广应用科技成果,设计了塔中862H井。该井设计井深8008 m,垂深6325 m,水平段长1557 m,目的层为上奥陶统良里塔格组。该井的设计是为了探索塔中861号奥陶系缝洞系统的含油气性、获得产能、流体性质及物性等资料。

塔中862H井位于塔克拉玛干沙漠腹地,地质条件复杂,施工难度大,属于典型的“三高”井,加之超深和水平段超长,

钻具组合抗拉安全存在一定风险,在实钻过程中,可能出现水力压耗大、环空返速低、托压严重、钻井周期长等问题。在塔中862H井设计中,塔里木油田利用自身优势,对深部井段钻具组合进行水力参数及力学分析,提出优化方案,降低钻井风险,二开设计使用旋冲钻具,以满足井段提速需要;三开水平段设计使用等壁厚螺杆及水力振荡器,以减少托压程度,确保塔中862H井顺利钻探。

塔中862H井钻探任务由川庆钻探塔里木第二勘探公司80003钻井队承担实施。